

SOLAR RADIATION MODEL

Roman Petrov

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xpetro09@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Michal Ptacek

E-mail: ptacekm@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper is focused on the description of created solar radiation model suitable for the analysis of PV modules in program PSCAD. Paper brings a lot of mathematical equations used in model and there are also mentioned factors and inputs that can be set up.

Keywords: Global solar radiation, modelling, photovoltaic, PSCAD

1 ÚVOD

Možný vliv FV elektráren na distribuční síť (DS) je poměrně dobře zmapovaný, přesto je nezbytné se touto problematikou i nadále zabývat. V blízké budoucnosti se předpokládá významnější rozvoj decentrálních zdrojů energie a na úrovni lokálních zdrojů energií je oprávněné uvažovat významný nárůst malých či domovních FV instalací. Množství těchto malých FV elektráren instalovaných na území menších samosprávných celků bude otevírat možnosti dalšího výzkumu z oblasti Smart grid nebo ostrovního provozu v rámci daného regionu. Pro komplexní věrohodnou simulaci chování FV elektráren a hodnocení jejich vlivu na DS, je nezbytné disponovat modelem intenzity slunečního záření, která představuje nejdůležitější parametr při simulacích obsahujících FV zdroje. Příspěvek představuje model slunečního záření vyznačující se komplexní parametrizací. Model je vytvořen v programu PSCAD, ve které obdobný generátor vstupních dat v knihovnách programu není a ve kterém lze realizovat simulace dynamického chování DS a jeho zdrojů. Model nabízí alternativu vstupních dat získaných měření meteorologických stanic. Z pohledu dopadajícího slunečního záření však umožňuje komplexně popsat a parametrizovat jakékoliv libovolné místo na Zemi.

2 POPIS MODELU INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

Vytvořený model umožňuje nastavit řadu důležitých parametrů, které mají vliv na průběh výsledné hodnoty intenzity slunečního záření během dne. Model respektuje například vliv konkrétního vybraného dne v roce (datum) nebo místo pro kterou je intenzita hodnocena (GPS souřadnice, nadmořskou výšku, časovou zónu). Další důležitou funkcionalitou modelu je výběr předdefinovaných druhů oblačnosti a míru jejich celkového uplatnění nebo je dále možné měnit sklon plochy, na kterou sluneční záření dopadá (FV panel) a její azimut, případně i albedo země. Všechny tyto parametry ovlivňují jednotlivé části slunečního záření různým způsobem a ovlivňují tak výslednou velikost intenzity slunečního záření. Okamžitá hodnota dopadajícího slunečního záření, které dopadá na zemi je složena ze tří složek, přímé G_B , difúzní G_D a odražené G_R , podle zdroje [1]

$$G_{celk} = G_B + G_D + G_R \quad (1)$$

kde celkové záření G_{celk} je tzv. globální záření ($W \cdot m^{-2}$).

2.1 PŘÍMÁ SLOŽKA ZÁŘENÍ

Informace a týkající se přímé složky záření v této podkapitole jsou čerpány z [1]. Přímá složka záření je určena významně sluneční konstantou G_{SC} (tj. $1367 W \cdot m^{-2}$). Vytvořený model respektuje změnu velikosti přímé složky slunečního záření v závislosti na změně roční období, a to díky excentrické dráze Země. Model v sobě zahrnuje následující rovnici

$$G_{SC} = 1367 \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \quad (2)$$

kde n , je den v roce (-). Důležitým parametrem pro přímou složku je také hodnota zakalení atmosféry Z podle Linkeho, která nabývá hodnot od 1 až do 8. Tato hodnota vyjadřuje stupeň nečistot v okolí. Další parametrem je pozice slunce na obloze vůči ploše X (kde dopadá záření), která může být vyjádřena jako jak je uvedeno v [1]

$$X = \frac{9,38076 \cdot (\sin h_x + \sqrt{0,083 + \sin^2 h_x})}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (3)$$

kde h_x je poloha slunce na obloze ($^\circ$) a H je nadmořská výška plochy dopadajícího záření (m). Pro polohu slunce na zemi je důležité znát také deklinaci slunce, zeměpisnou šířku a hodinový úhel slunce. Výsledný tvar pro přímou složku je tedy

$$G_B = G_{SC} \cdot e^{-\frac{Z}{X}} \cdot \sin h_x \cdot \sin \delta \quad (4)$$

kde δ je úhel, který svírá sluneční paprsky s normálou osluněné plochy ($^\circ$).

2.2 DIFÚZNÍ SLOŽKA ZÁŘENÍ

Informace ohledně difúzní složky záření čerpány z [2]. Difúzní složka slunečního záření je složena ze tří částí. Je to Rayleighovo rozptylové difúzní záření D_R , aerosoly rozptýlené záření D_A a širokopásmové difúzní záření D_M . Pro Rayleighovo záření platí tato rovnice

$$D_R = \frac{1367 \cdot 0,79 \cdot \sin \alpha \cdot \tau_o \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot 0,5 \cdot (1 - \tau_r)}{1 - m_a + m_a^{1,02}} \quad (5)$$

kde α je výška slunce ($^\circ$), dále jsou zde rozptylové propustnosti pro ozon τ_o (-), plyn τ_g (-), vodu τ_w (-), aerosoly τ_{aa} (-), a Rayleighův rozptyl τ_r (-), a objem vzduchu m_a (-). Tyto rozptylové propustnosti se určují z dalších parametrů a konstant. Aerosoly rozptýlené záření je velice podobné Rayleighovu záření, jak lze vidět v této rovnici

$$D_A = \frac{1367 \cdot 0,79 \cdot \sin \alpha \cdot \tau_o \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot 0,84 \cdot (1 - \tau_{as})}{1 - m_a + m_a^{1,02}} \quad (6)$$

kde τ_{as} je část dopadajícího záření přeneseného po rozptylu aerosoly (-). Poslední složkou difúzního záření je širokopásmové difúzní záření D_m . Toto záření vychází ze dvou předcházejících záření.

$$D_m = \frac{(G_B \cdot \sin \alpha + D_R + D_A) \cdot \rho_{země} \cdot \rho_a}{1 - \rho_{země} \cdot \rho_a} \quad (7)$$

kde $\rho_{země}$ je albedo povrchu (-) a ρ_a je albedo oblohy (-).

2.3 ODRAŽENÁ SLOŽKA ZÁŘENÍ

Odražená složka záření je přímo závislá na albedu plochy, kde záření dopadá a jeho okolí, tedy čím vyšší hodnota albeda, tím vyšší hodnota odražené složky záření. Hodnota odražené složky se vypočte následovně, jak je uvedeno v [1]:

$$G_R = \frac{1 - \cos \gamma}{2} \cdot \rho_a \cdot (G_B + G_D) \quad (8)$$

kde γ značí úhel náklonu plochy na kterou dopadá slunečního záření ($^\circ$). Pokud je úhel náklonu roven 0° , tedy plocha dopadu je zcela rovná, nevzniká žádné odražené záření.

2.4 POPIS DALŠÍCH VYBRANÝCH FUNKCIONALIT

Dalším významným parametrem mající vliv na výslednou intenzitu slunečního záření jsou oblaka. Ty lze dělit na několik druhů, např. Cirrus, Stratus, Stratocumulus atd. Obecně lze popsat faktor omezení vlivem oblačnosti následující rovnicí, která vyplývá z [3]:

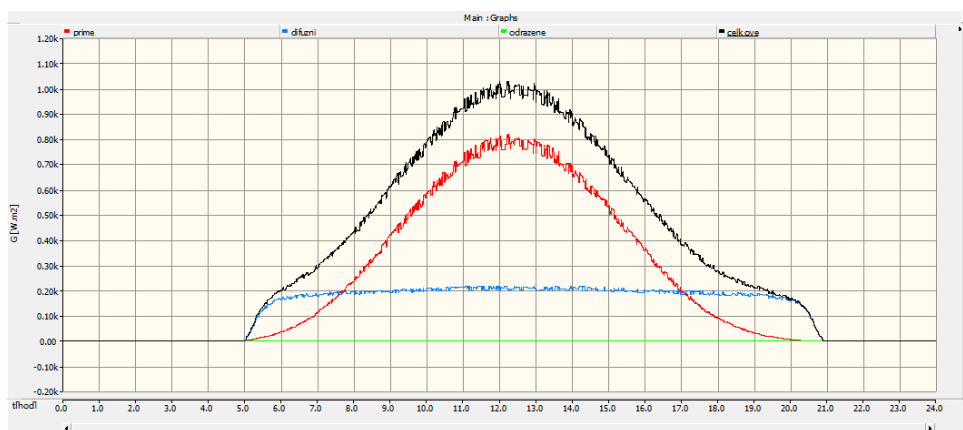
$$K_{mrak} = 1 - \left[(1 - \tau_{mrak} - \rho_2) \cdot \frac{N}{10} \right] \quad (9)$$

kde K_{mrak} je koeficient omezení pro daný typ mraku (-), ρ_2 je záření odražené od země ku mrakům a zpět na zemi (-), τ_{mrak} je prostupnost mraku (-) a $N/10$ udává počet desetín výskytu daného mraku na obloze (-). Když jsou určeny všechny koeficienty pro oblaka, která se na obloze vyskytují, tj. koeficienty omezující přímou složku záření, je její tvar následovný:

$$G_{BC} = G_B \cdot K_C \cdot K_{Ac} \cdot K_{Sc} \cdot K_S \cdot K_{As} \cdot K_{Cf} \quad (10)$$

3 VYBRANNÉ DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Na následujícím obrázku jsou ilustrovány dílčí dosažené výsledky a je znázorněn výsledný průběh intenzity slunečního záření pro letní den bez oblačnosti.



Obrázek 1: Průběh slunečního záření - den 1.7.2018, bezoblačnost, ČR (přímá složka – červená, odražená složka – zelená, difúzní složka – modrá, celkové globální záření – černá)

Z obrázku lze pozorovat dominantní podíl přímé složky slunečního záření, která je důležitým vstupním parametrem pro FV panely. Pouze v některých částech dne dosahuje velikost difúzní složky vyšších absolutních hodnot. Tuto skutečnost je zřejmá v době východu a západu slunce. Během dne je velikost difúzního záření pak téměř konstantní. Odražená složka záření nabývá velmi malých hodnot, pokud není přímo nulová.

4 ZÁVĚR

Vytvořený komplexní model slunečního záření je využíván ve spojení s modulem FV panelu, ale simuluje pouze intenzitu slunečního záření, která může být implementována v PSCAD simulaci. Další vstupní parametry do FV panelu nejsou předmětem tohoto článku. Knihovna programu nedisponuje žádným generátorem/simulátorem slunečního záření, při simulacích se tak často využívá konstantního slunečního záření, případně je simulována jeho skoková změna. Tento nedostatečný a nevhodný přístup je však eliminován díky vytvořenému komplexnímu modelu. Samotný model má dobrý potenciál pro jeho využití v energetice, zejména v oblasti decentrálních FV zdrojů, pro které je zbytné například věrohodně simulovat jejich výkonové chování a vliv na distribuční síť. Tento model vychází z již publikovaných zdrojů, tedy lze říci, že model sám lze považovat za relevantní.

REFERENCE

- [1] PETROV, R. Komplexní simulátor slunečního záření. *Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 54 s.
- [2] WONG, L.T. a W.K. CHOW. *Solar Radiation Model* [online]. , 2-8 [cit. 2018-03-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261901000125>
- [3] VOWINCKEL, E. a Sverre ORVIG. Relation between solar radiation income and cloud type in the arctic [online]. 21.6.1962, 5 [cit. 2018-03-09]. Dostupné z: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450%281962%29001%3C0552%3ARBSRIA%3E2.0.CO%3B2>